中華農業研究(J. Agric. Res. China) 52:311~323(2003)

水稻粒形量化分析－I、形狀參數之決定[1]

呂秀英[2,4]　魏夢麗[2]　呂椿棠[2]　陳烈夫[3]

摘　要

呂秀英、魏夢麗、呂椿棠、陳烈夫。2003。水稻粒形量化分析－I、形狀參數之決定。中華農業研究 52:311-323。

隨著市售稻米品牌愈來愈多，爲求能夠快速且準確地區分出穀粒樣品間的形狀差異，進行自動化篩選，達到品質管制之目的，於是影像分析系統之應用漸受重視。該項技術在軟體設計方面之發展，首先要確立有效的形狀指標。傳統上以長寬比例將稻米區分爲三類(長、中及短粒形)，但此對影像測量系統而言，則過於簡單而不足以充分地辨識稻米之粒形變異。有關稻米穀粒的形態量化分析研究仍相當闕如，故本研究以 40 個粳稻品種(系) 之稻穀及糙米爲試驗材料，利用可測的長(L)、寬(W)、厚(D)、面積(A)及圓周(P)等幾何特徵，估算 7 種二維(2D)或三維(3D)之形狀參數(S1~S7)，並探討這些形狀參數之間的關係，以從中找出最能代表水稻粒形的量化指標。結果得知，稻穀或糙米的分析結果一致，若採用 2D 法則建議利用長、寬及面積所建立之形狀參數 S2(=L/A)、S5(=4A/πLW)、S6(=W/L)，就能有效地將稻穀及糙米之粒形予以量化；若考慮 3D 法，則可再搭配形狀參數 S7(=(L+W)/2D)。

關鍵詞：粳稻、粒形、幾何特徵、形狀參數、影像分析系統。

前　言

稻米穀粒形狀其實複雜而不明確，在缺乏精確的定義下一般以長寬比例來加以描述(郭 1986；劉 1986)。國際上稻米粒形以長寬比例分爲三類：長粒形、中粒形及短粒形(曾&鄧 1984)，我國亦以此作爲國家標準(CNS)來區分稻穀，而糙米則依長寬比分爲細長形、中間形及粗圓形米。這在過去育種遺傳研究上或許堪用，但隨著市售稻米品牌愈來愈多，爲求能夠快速且準確地區分出穀粒間的形狀差異，藉以辨識稻穀在去殼及碾米過程中的形狀變異，進行自動化篩選，達到品質管制之目的，僅憑藉這些長、寬之簡單幾何測度及其比例間差異性的視覺評估，顯然不足，亦不免過於主觀，於是利用影像分析技術原理所開發的視覺機器漸受重視。

影像處理運用於穀粒形狀的研究，以小麥爲最多(Keefe 1992；Keefe & Draper 1986, 1988；Myers & Edsall 1989；Shouche *et al.* 2001；Symons & Fulcher 1988；Travis & Draper 1985；Zayas *et al.* 1985, 1986)，除此還有燕麥(Pietrzak & Fulcher 1995)、亞麻子(Keefe 1999)、稻(Sakai *et al.* 1996)等。目前穀

1. 行政院農業委員會農業試驗所研究報告第 2172 號。接受日期：92 年 9 月 29 日。
2. 本所農藝組研究員、助理研究員與助理研究員。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。
3. 本所農場管理組助理研究員。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。
4. 通訊作者，電子郵件：iying@wufeng.tari.gov.tw，傳眞機：(04)23302806。

粒影像分析技術運用在商業上的價值是發展出高效率的數位影像系統，以快速及準確地測量出穀粒的幾何特徵及其形狀參數，據此來進行品種間或品種內粒形變異的辨識。Sapirstein(1995)認爲將影像分析技術運用於穀粒之客觀辨識及分類的工作，雖起步甚早，迄今將近 20 年，但仍屬一門新興的科學。在這些技術的發展背後，潛在著硬體及軟體之不同層面的問題，硬體方面涉及自動化技術改良，而軟體設計方面之首要工作是要確立有效的形狀指標。因此，有關穀粒形態量化估計方面的研究及如何發展出一套辨識方法，就顯得更爲重要。

迄今已提出的形狀指標很多，主要可分爲兩類：其一是由一些容易測量之幾何特徵間的關係，建立有用的形狀參數(shape parameters)；另一是利用灰階影像計算其原始或標準化的各種動差(moment)變量，來判別物體形態(Jain 1995)。前者比較直接而簡單，而後者較爲細密但繁瑣。例如 CIS 套裝軟體(Comprehensive Image Processing Software Package)就是使用動差分析來建立物質和生物科學上的形態分析(Rastogi *et al.* 1998)，而 Shouche *et al.*(2001)採用這套軟體，根據歐氏距離(Euclidean distance)分類法，發現某些小麥品種以動差較形狀參數可更清楚地被辨識出來。不過，目前還是以簡單的形狀參數最廣受使用，例如用以描述平面形狀的緊密性(compactness)、圓形性(roundness)、伸長性(elongation)等統計量或各種比例值(Cerdà & García-Fayos 2002；Kimura & Aikawa 1986；Rosenfeld & Kak 1976；Schäfer & Teyssen 1987；Symons & Fulcher 1988；Yonekawa *et al.* 1996；Zayas *et al.* 1985,1986)。不管何種粒形量化分析，數位影像分析絕大多數仍是以模擬人類眼睛所形成的二維(two-dimensional, 2D)之平面影像爲基礎。這是因爲人類眼睛觀察物件時是以 2D 形成影像，而物件在空間中的各種三維(three-dimensional, 3D)排列大多會造成相同的影像，因此人類視覺系統是使用種種線索來減少或消除這種模糊性，而這些線索大多以簡化準則來表達(Rosenfeld & Kak 1976)。一個形狀的複雜性決定於該形狀所持有的資訊量。因此，從 2D 形狀推論到 3D 形狀是研究機器視覺的一個重要挑戰(Yonekawa *et al.* 1996)。Sakai *et al.*(1996)建議稻米粒形之測量採 2D 法而未必需要使用 3D 法，理由是米粒具有透光性，而且雖然 2D 法會損失某些粒形資訊，但其測量系統較簡單且很多樣品可以一起處理。但作物穀粒畢竟是一種 3D 立體結構，此即涉及粒厚之測量。有關作物穀粒之 3D 形狀參數迄今仍相當闕如，Cerdà & García-Fayos(2002)將 Poesen(1987)對石粒形狀之定義沿用於不同物種之植物種子形狀，以一個平整度指標(flatness index)來描述粒形的 3D 結構，但其取得粒厚數據的方式是直接用尺測量而非透過數位影像分析技術。在數位影像分析上若欲準確測得粒厚，目前有些技術問題仍待克服。

影像分析技術在稻米穀粒形狀應用上的報告甚少，Sakai *et al.* (1996)利用四個水稻品種(分屬於粳稻、籼稻及 Javanica 之三種不同型態)來探討三種碾米方法對粒形的影響，其是直接使用可測量的幾何特徵來建立描述平面的形狀參數，而所引用的形狀參數爲 Rosenfeld & Kak (1976)之緊密性與最大寬長比例之伸展性。但 Sakai *et al.* (1996)亦指出只根據這兩個形狀參數，對稻米穀粒形狀所獲資訊仍顯不足，有待發展更一般化的量化測度。國內大多以栽培短圓粒形之粳稻爲主，僅憑傳統之寬對長(或長對寬)之比例值所定義的簡單形狀觀念，欲在同樣是短圓粒形品種間或品種內再辨識其間的形狀變異，是相當困難的。因此，本研究以 1999 年在本所試驗田區進行之 40 個粳稻品種(系)的一期作栽培試驗資料，分別以稻穀及糙米，利用可測的長、寬、厚、面積及圓周等幾何特徵，估算各種 2D 及 3D 形狀參數，並探討這些形狀參數之間的關係，進而從中找出最能代表水稻粒形的量化指標。

材料及方法

本試驗於 1999 年一期作在行政院農業委員會農業試驗所農場田區進行。所使用之水稻品種材料列如表 1。編號 1～32 爲國內歷年來育成的粳稻品種(系)，編號 33～40 爲常作爲育種親本之其他國家來源的粳稻品種(其中 33～39 爲日本品種，40 爲菲律賓品種)。水稻栽培時之行株距爲 30×15cm，採單本植，小區面積 1.2×3m^2，重複三次，採用逢機完全區集設計(RCBD)。施用之肥料用量爲

N:P_2O_5:K_2O=150：58：90 kg/ha，其中氮肥 60 kg/ha 與磷、鉀全量以基肥施用，其餘之氮肥分兩次用爲追肥；栽培管理依慣行法爲之。

將所收穫的各水稻品種穀粒，逢機取出 80 粒，分別測量稻穀及去殼後之糙米的長(L)、寬(W)、厚(D)、面積(A)及圓周(P)之各種幾何特徵。其中除了粒厚是以傳統的測量計求得外，其餘特徵均是利用 SigmaScan Pro 之影像測量軟體(Jandel Scientific Cor. 1995)讀取由數位相機所攝得之影像檔案所測量得到。

然後，利用上述幾何特徵估算七種粒形參數，如表 2 所列。表中公式內的π=3.141516....爲圓周率。前六種粒形參數爲 2D 形狀參數，其中第一～五種形狀參數係引用 Symons & Fulcher (1988)及 Shouche *et al.* (2001)的方法，而第六種粒形參數則爲傳統的寬長比例值。除 S2, S3 及 S5 以外，其餘 2D 形狀參數出現在其他研究報告中的名詞定義略有不同：S1 呈現相對於圓周的圓形或緊密程度(Schäfer & Teyssen 1987)，亦相當於 Rosenfeld & Kak (1976)的緊密性及 Zayas *et al.* (1985,1986)的圓形因子(circularity shape factor)之倒數；S4 呈現相對於面積的圓形-緊密程度(Schäfer & Teyssen 1987)或延伸程度(Balck 1980)，亦即 Kimura & Aikawa (1986)所定義的圓形性；S6 爲一種常用作簡單形狀定義的觀念

表 1. 四十個參試粳稻品種名稱及其來源

Table 1. Name and source of 40 tested japonica rice varieties

No.	Variety name	Chinese name	Source	No.	Variety name	Chinese name	Source
1	Chianan 4	嘉南 4 號	Taiwan	21	Taikeng 9	臺粳 9 號	Taiwan
2	Chianungyu 2574	嘉農育 2574 號	Taiwan	22	Taikeng 10	臺粳 10 號	Taiwan
3	Hsinchu 62	新竹 62 號	Taiwan	23	Taikeng 13	臺粳 13 號	Taiwan
4	Hsinchu 64	新竹 64 號	Taiwan	24	Taikeng Glutinous 5	臺粳糯 5 號	Taiwan
5	Hualienkang 12	花蓮港 12 號	Taiwan	25	Tainung 45	臺農 45 號	Taiwan
6	Kaohsiung 139	高雄 139 號	Taiwan	26	Tainung 61	臺農 61 號	Taiwan
7	Kaohsiung 142	高雄 142 號	Taiwan	27	Tainung 67	臺農 67 號	Taiwan
8	Kaohsiung 6	高雄 6 號	Taiwan	28	Tainung 68	臺農 68 號	Taiwan
9	Kaohsiung 20	高雄 20 號	Taiwan	29	Taipei 12	臺北 12 號	Taiwan
10	Kaohsiung 64	高雄 64 號	Taiwan	30	Taipei 173	臺北 173 號	Taiwan
11	Nungyu 1342	農育 1342 號	Taiwan	31	Taipei 191	臺北 191 號	Taiwan
12	Tachung 190	台中 190 號	Taiwan	32	Taitung 26	臺東 26 號	Taiwan
13	Taichung 65	台中 65 號	Taiwan	33	Kinmaze	金南風	Japan
14	Taichung Native 1	台中在來 1 號	Taiwan	34	Nohrin 41	農林 41 號	Japan
15	Taikeng 1	臺粳 1 號	Taiwan	35	Nohrin 46	農林 46 號	Japan
16	Taikeng 2	臺粳 2 號	Taiwan	36	Oho-ina	大稻	Japan
17	Taikeng 4	臺粳 4 號	Taiwan	37	Reinei	黎明	Japan
18	Taikeng 5	臺粳 5 號	Taiwan	38	Tadorokiwase	轟生早	Japan
19	Taikeng 6	臺粳 6 號	Taiwan	39	Tareho	タレ穗	Japan
20	Taikeng 8	臺粳 8 號	Taiwan	40	Malaigit Pirurutong		Philippine

表 2. 由測量之幾何特徵所推導出的水稻粒形參數

Table 2. Shape parameters derived from measured geometric features of grains in rice

Symbol	Description[z]
S1	Shape parameter 1: $4\pi A/P^2$
S2	Shape parameter 2: L/A
S3	Shape parameter 3: A/L^3
S4	Shape parameter 4: $A/((L/2)(L/2)\,\pi) = 4A/\pi L^2$
S5	Shape parameter 5: $A/((L/2)(W/2)\,\pi)=4A/\pi LW$
S6	Shape parameter 6: W/L
S7	Shape parameter 7: $(L+W)/2D$

[z] L=maximum length, W=maximum width, H=depth, A=area, P=perimeter, π=ratio of the circumference of a circle to its diameter=3.141516....

比例值(Symons & Fulcher 1988)，相當於 Yonekawa *et al.*(1996)的伸長性，國內在水稻育種遺傳研究上習慣以其倒數(即長對寬之比例值)將稻米形狀進行簡單之分類，而 Poesen (1987)則將其倒數另定義爲離心率指標(eccentricity index)。一個圓形具有等於 1 的形狀參數 S4 和最大值的形狀參數 S1 及 S6。最後的第七種形狀參數 S7 爲 Cerdà & García-Fayos (2002)所使用之 3D 形狀參數，即 Poesen (1987)所定義之平整度指標。一個圓球體具有等於 1 的形狀參數 S7，其值愈大則趨於橢圓體或紡錘體。

首先分開稻穀及糙米，各探討上述各種幾何特徵和七種粒形參數間的相關關係，進而利用多變數分析中的因素分析(factor analysis)將其減爲較少無相關的變數，並從無相關的新變數中做原變數同質性歸類，據此找出最能代表水稻粒形的量化指標。本研究各項資料分析均係利用 SAS 套裝統計分析軟體(SAS Institute Inc. 1999)進行運算。

結　果

40 個粳稻品種的稻穀和糙米之長(L)、寬(W)、厚(D)、面積(A)及圓周(P)的實測值如表 3、4 所示，由於這些品種都屬於短圓粒形之粳稻，故長、寬及厚之實測平均值範圍相當狹窄，且各品種之 CV 值亦均甚小；相對於其他四種實測性狀，面積在各品種內及品種間的 CV 則較大，表示稻穀及糙米的大小有較大之變異。利用這些可測的幾何特徵所估算的七種粒形參數，各列於表 5、6，無論是稻穀或糙米，其中各品種均以 S1、S6 及 S7 的變異(CV)最小，其次爲 S2、S5、S4，而以 S3 在品種內的變異最大；由品種間之 CV 來看，無論是稻穀或糙米，均爲 S5<S1<S7<S2<S6<S4<S3，仍以 S3 在品種間的變異最大。

稻穀(對角線右方)及糙米(對角線左方)的測量幾何特徵值及形狀參數間的相關關係，如表 7 所列。稻穀及糙米的相關分析結果一致：面積和圓周之間呈極顯著相關，而粒長及粒寬同時影響面積，但粒長對圓周的影響則甚於粒寬；粒長及粒寬之間無明顯的直線關係，然粒寬及粒厚之間則存在極顯著正相關關係；除了粒形參數 S5 以外，其餘五種粒形參數之間皆呈極顯著的正或負相關關係，S1、S3、S4、S6 之間呈正相關關係，但都與 S2、S7 呈負相關關係。

進而利用因素分析將其減爲較少無相關的變數。在轉軸前，稻穀及糙米的前兩個因素之直線傾斜度變化很大，然後斜率即變得甚小，如圖 1 所示，且其已能各解釋 84%及 85%之變異量，故選擇兩個共同因素來解釋資料。爲使實驗分析項目在這些成份上顯出最大的個別差異來，以從無相關的新變數中做原變數同質性歸類，再利用最大變異轉軸法(varimax rotation)，獲得轉軸後稻穀及糙米資料的兩個因素之分布圖，示於圖 2。從圖 2 之稻穀因素分布圖可將其幾何特徵和形狀參數之 12 種變數分爲六組，即(W,D)、(L,A,P)、(S1,S3,S4,S6)、(S2)、(S5)、(S7)，各組內之變數有密切關係。由圖 2 之糙米因素分布圖亦獲得相當一致的變數分組結果。

由上述分析顯示 S1,S3,S4,S6 四種粒形參數是同質性甚高的形狀指標，它們所代表的都是屬於描述圓形-緊密性的量化測度，故在實際應用上應該只要選擇其中一種與 S2、S5(僅考慮 2D 結構)或 S2、S5、S7(考慮 3D 結構)合併使用即可。從表 5~6 之 CV 值表現來看，由於 S1、S3、S4、S6 中以 S3 在品種間的變異最大，理論上各品種間可以獲得較大變異而有利於比較，但由於 S3 在品種內的變異也最大，多少會影響測量的精確度；反之若採以品種內變異最小的 S1，因其在品種間之變異亦最小，恐怕不利於凸顯品種間的粒形差異性；S4 在品種內及品種間的 CV 介於 S1 和 S3 之間；而寬長比例值(S6)在品種內變異最小(甚小於 S3 及 S4)，而品種間變異也較大(僅次於 S3)，若欲在這組代表圓形-緊密性之同質性甚高的形狀指標中進行選擇，則以 S6 較理想。由於 S7 是一種 3D 形狀參數，故與其他六種 2D 形狀參數的同質性並不高(圖 2)。但無論稻穀或糙米，粒寬及粒厚之間均具有高度的同質性(圖 2)，由此看來，稻米粒形之測量不用 3D 法而採 2D 法所損失的粒形資訊可能相當有限。採用 2D 法之測量系統的優點是較爲簡單且很多樣品可以一起處理。綜合本研究結果，若採用 2D 法則建議利用可測量的幾何特徵(長、寬、面積)所建立之形狀參數 S2、S5、S6 即可。

表 3. 四十個粳稻品種之稻穀的實測長(L)、寬(W)、厚(D)、面積(A)及圓周(P)

Table 3. Measured length (L), width (W), depth (D), area (A) and perimeter (P) of rice grain for 40 japonica rice varieties

Variety[z] No.	L		W		D		A		P	
	Mean (mm)	CV (%)	Mean (mm)	CV (%)	Mean (mm)	CV (%)	Mean (mm^2)	CV (%)	Mean (mm)	CV (%)
1	7.07	4.96	3.52	5.21	2.14	4.09	18.48	8.26	17.91	4.05
2	7.19	5.26	3.41	4.90	2.24	3.03	18.39	8.63	18.06	4.76
3	7.16	5.21	3.45	4.20	2.17	4.77	17.94	8.48	17.88	4.73
4	7.58	4.41	3.55	4.77	2.27	4.66	19.99	8.06	18.99	4.28
5	7.15	5.91	3.15	8.33	2.07	6.81	16.81	12.31	17.63	5.67
6	7.49	4.16	3.53	4.92	2.25	3.93	19.45	7.76	18.70	3.77
7	7.13	4.25	3.55	5.01	2.32	3.98	18.68	7.47	18.11	3.72
8	7.55	4.80	3.51	4.87	2.18	4.97	19.04	7.68	18.61	4.21
9	6.83	4.86	3.47	4.69	2.20	5.99	17.34	8.21	17.34	4.44
10	7.12	6.40	3.52	5.23	2.28	5.06	18.75	9.69	18.14	5.59
11	7.23	5.49	3.17	5.27	2.16	4.55	17.11	8.62	17.91	4.79
12	7.18	4.72	3.49	5.37	2.25	3.15	18.59	8.72	18.11	4.28
13	7.31	4.95	3.52	4.51	2.26	3.33	19.01	8.47	18.40	4.28
14	7.39	4.63	3.67	6.34	2.33	5.95	21.10	7.49	19.13	4.29
15	7.32	5.08	3.44	4.80	2.26	3.51	18.46	8.17	18.32	4.15
16	6.92	4.94	3.41	4.34	2.22	3.71	17.70	8.06	17.59	4.41
17	7.29	4.75	3.58	4.20	2.28	3.86	19.13	7.64	18.37	4.23
18	7.14	4.09	3.40	4.29	2.25	2.90	18.21	8.41	18.08	4.24
19	7.38	5.36	3.54	4.87	2.24	4.45	19.15	8.31	18.54	4.71
20	7.09	5.10	3.52	5.01	2.32	4.75	18.38	8.00	18.11	4.08
21	7.01	4.10	3.36	4.50	2.16	3.31	17.08	6.64	17.49	3.60
22	6.59	4.21	3.65	4.58	2.27	4.47	17.48	7.67	17.09	3.80
23	7.29	4.87	3.66	4.67	2.35	3.53	19.63	7.75	18.54	4.01
24	7.47	4.80	3.89	4.35	2.46	3.22	21.56	8.66	19.21	4.49
25	6.79	4.23	3.61	4.15	2.23	4.99	18.05	5.77	17.54	3.23
26	7.25	4.77	3.72	4.65	2.24	5.77	19.68	8.16	18.35	4.34
27	7.00	4.35	3.60	4.42	2.35	3.92	18.83	7.26	18.02	3.98
28	7.34	5.37	3.34	5.19	2.18	4.69	18.31	8.45	18.32	4.36
29	7.44	5.94	3.72	4.47	2.36	3.88	19.80	7.47	18.67	4.60
30	7.37	5.73	3.71	5.90	2.36	6.46	19.85	8.67	18.59	5.07
31	7.31	5.51	3.63	4.85	2.27	5.69	18.75	7.94	18.23	4.90
32	6.99	4.84	3.69	4.46	2.40	4.71	19.16	7.07	18.04	3.84
33	7.51	4.67	3.45	4.84	2.15	5.09	18.60	8.01	18.66	5.04
34	7.72	6.66	3.56	6.23	2.22	5.15	20.25	10.59	19.48	6.88
35	7.50	4.24	3.42	4.89	2.24	4.70	18.36	7.31	18.81	4.51
36	7.18	5.20	3.37	4.39	2.20	3.98	17.26	6.76	17.97	5.39
37	6.93	5.40	3.56	5.70	2.26	4.19	17.61	8.87	17.50	4.72
38	6.89	5.11	3.35	4.94	2.18	4.63	16.54	7.93	17.40	5.72
39	7.48	5.66	3.71	4.69	2.39	5.20	19.89	8.54	19.06	6.13
40	7.60	5.82	3.53	5.79	2.21	3.23	19.60	7.85	18.82	4.96
$LSD_{0.05}$	0.11		0.05		0.03		0.48		0.26	
CV(%)	3.44		4.18		3.54		5.98		3.05	

[z] See Table 1.

表 4. 四十個粳稻品種之糙米的實測長(L)、寬(W)、厚(D)、面積(A)及圓周(P)

Table 4. Measured length (L), width (W), depth (D), area (A) and perimeter (P) of brown rice for 40 japonica rice varieties

Variety[z] No.	L		W		D		A		P	
	Mean (mm)	CV (%)	Mean (mm)	CV (%)	Mean (mm)	CV (%)	Mean (mm^2)	CV (%)	Mean (mm)	CV (%)
1	5.15	4.10	3.02	4.23	1.93	5.33	12.68	7.40	14.22	3.44
2	5.27	4.69	2.96	5.01	2.02	3.22	12.46	7.76	14.23	3.76
3	5.07	4.65	2.88	4.86	1.98	5.97	12.14	7.62	13.91	3.80
4	5.47	4.23	3.04	5.20	2.04	6.16	13.65	7.91	14.85	3.93
5	5.27	4.68	2.70	8.68	1.84	7.81	11.60	11.02	13.86	5.02
6	5.33	3.67	2.97	4.52	2.02	4.80	12.76	5.88	14.34	2.77
7	5.13	4.05	3.06	5.32	2.08	5.32	12.68	7.08	14.15	3.44
8	5.36	3.73	2.94	5.15	1.95	7.07	12.95	7.46	14.46	3.69
9	4.90	5.05	2.90	4.60	2.00	7.26	11.40	9.53	13.39	4.93
10	5.31	6.10	3.07	5.38	2.07	6.49	13.30	9.30	14.51	5.19
11	5.09	4.86	2.72	5.53	1.95	6.04	11.55	7.90	13.74	3.72
12	5.23	5.01	3.02	5.07	2.06	3.67	12.93	7.96	14.43	4.00
13	5.34	4.62	2.98	5.02	2.04	4.09	12.88	7.85	14.41	3.97
14	5.31	3.59	3.15	6.79	2.08	6.51	13.56	8.03	14.68	3.66
15	5.37	4.23	2.95	3.49	2.04	3.68	12.56	7.37	14.40	3.68
16	5.12	4.55	2.95	4.61	2.02	4.17	11.98	7.51	13.83	4.11
17	5.34	4.35	3.03	4.68	2.05	4.56	13.13	7.61	14.51	4.23
18	5.27	4.39	3.00	4.71	2.05	3.37	13.00	6.81	14.43	3.51
19	5.32	4.45	3.05	5.09	1.98	5.88	12.96	8.37	14.39	4.08
20	5.18	4.00	3.01	6.42	2.07	6.82	12.46	7.55	14.08	3.38
21	4.90	3.19	2.81	4.33	1.91	4.29	11.46	6.35	13.54	2.87
22	4.75	4.62	3.08	4.83	2.01	5.22	11.83	8.59	13.49	3.98
23	5.12	4.29	3.10	5.81	2.08	4.76	12.95	8.50	14.28	3.79
24	5.22	4.57	3.25	4.38	2.21	4.17	13.88	8.22	14.66	4.13
25	4.94	4.83	3.10	4.46	2.02	5.92	12.28	8.09	13.82	4.08
26	5.16	4.44	3.10	5.25	1.99	7.73	13.06	8.11	14.36	4.41
27	4.96	4.51	3.11	6.56	2.11	4.68	12.66	8.97	14.13	4.18
28	5.30	4.97	2.87	5.22	1.97	5.81	12.49	9.62	14.31	4.74
29	5.25	4.86	3.14	4.19	2.13	4.03	13.48	6.98	14.58	3.73
30	5.40	10.96	3.14	8.86	2.13	8.68	13.04	8.32	14.41	4.11
31	5.17	5.33	2.98	4.70	2.04	7.09	12.43	8.76	14.08	4.49
32	5.04	3.84	3.14	4.29	2.12	7.77	12.79	7.33	14.13	3.63
33	5.48	4.69	2.81	6.47	1.94	7.21	12.46	8.17	14.42	4.21
34	5.46	5.41	2.86	5.37	1.97	5.52	12.68	9.54	14.49	5.08
35	5.19	3.82	2.81	4.17	1.98	5.39	12.10	7.27	14.01	3.72
36	5.12	4.49	2.83	4.85	1.96	5.03	11.65	6.70	13.71	3.55
37	4.91	4.06	2.97	4.45	2.05	5.47	11.94	7.70	13.70	4.22
38	4.90	4.67	2.82	5.42	1.98	5.25	11.21	8.60	13.39	3.98
39	5.19	5.44	3.03	4.63	2.14	5.62	13.00	9.44	14.35	4.82
40	5.38	4.55	2.93	5.31	1.98	3.36	13.09	7.11	14.57	3.71
$LSD_{0.05}$	0.08		0.05		0.04		0.31		0.18	
CV(%)	3.42		4.19		3.49		5.18		2.62	

[z] See Table 1.

表 5. 四十個粳稻品種之稻穀的七種形狀參數估計值

Table 5. Estimated values of 7 shape parameters of rice grain for 40 japonica rice varieties

Variety[z] No.	S1[y]		S2		S3		S4		S5		S6		S7	
	m	CV (%)	m (mm^{-1})	CV (%)	m (mm^{-1})	CV (%)	m	CV (%)	m	CV (%)	m	CV (%)	m	CV (%)
1	0.72	3.73	0.39	8.46	0.050	14.49	0.47	10.78	0.95	9.41	0.50	5.77	2.48	5.78
2	0.71	3.18	0.39	9.52	0.050	16.80	0.46	12.26	0.96	10.58	0.48	4.91	2.37	5.10
3	0.70	4.04	0.40	8.88	0.046	16.52	0.45	12.00	0.93	10.47	0.48	4.79	2.45	6.69
4	0.70	3.29	0.38	9.14	0.047	15.29	0.45	11.89	0.95	11.38	0.47	4.35	2.45	5.74
5	0.68	5.35	0.43	14.12	0.047	22.03	0.42	17.33	0.96	15.70	0.44	8.56	2.49	6.72
6	0.70	4.23	0.39	8.46	0.052	13.81	0.44	10.78	0.94	10.70	0.47	4.39	2.45	4.50
7	0.72	3.57	0.38	9.06	0.045	15.22	0.47	11.73	0.94	10.79	0.50	5.57	2.31	5.18
8	0.69	3.79	0.40	9.67	0.055	17.00	0.43	12.92	0.92	12.02	0.46	4.60	2.55	7.55
9	0.72	4.42	0.40	8.29	0.053	14.71	0.48	10.95	0.94	9.32	0.51	5.37	2.35	7.11
10	0.72	4.14	0.38	10.42	0.046	21.22	0.48	14.78	0.96	11.97	0.50	6.04	2.33	7.07
11	0.67	5.86	0.43	10.14	0.051	17.90	0.42	13.56	0.96	12.57	0.44	6.50	2.41	6.52
12	0.71	3.52	0.39	10.22	0.050	16.66	0.46	12.85	0.95	12.84	0.49	4.78	2.37	5.05
13	0.70	3.45	0.39	10.95	0.053	18.19	0.46	14.05	0.95	12.09	0.48	5.30	2.40	4.84
14	0.72	3.64	0.35	9.29	0.048	16.54	0.50	12.64	1.00	12.30	0.50	6.93	2.38	6.42
15	0.69	3.72	0.40	9.53	0.054	17.32	0.44	13.01	0.94	11.34	0.47	5.26	2.38	4.86
16	0.72	3.42	0.39	9.56	0.050	17.07	0.47	12.89	0.96	11.03	0.49	4.82	2.33	4.91
17	0.71	3.15	0.38	10.39	0.051	17.87	0.46	13.71	0.94	12.00	0.49	4.21	2.39	5.31
18	0.70	4.16	0.39	9.81	0.049	15.29	0.46	12.04	0.96	11.57	0.48	4.64	2.34	4.30
19	0.70	3.94	0.39	10.79	0.052	19.39	0.45	14.47	0.94	13.44	0.48	4.92	2.44	7.06
20	0.70	3.11	0.39	10.35	0.050	17.98	0.47	13.69	0.94	12.92	0.50	5.71	2.30	6.78
21	0.70	4.23	0.41	8.15	0.062	14.00	0.45	10.67	0.93	9.93	0.48	5.05	2.41	5.36
22	0.75	3.52	0.38	8.69	0.051	14.89	0.52	11.33	0.93	10.54	0.55	4.62	2.26	4.77
23	0.72	3.71	0.37	8.84	0.052	16.63	0.47	12.25	0.94	10.61	0.50	4.82	2.33	5.83
24	0.73	3.09	0.35	9.37	0.058	15.08	0.50	11.79	0.95	11.22	0.52	4.31	2.31	4.85
25	0.74	3.84	0.38	6.72	0.052	12.97	0.50	9.39	0.94	8.11	0.53	5.49	2.34	6.34
26	0.73	3.22	0.37	9.30	0.056	15.78	0.48	12.19	0.93	10.68	0.51	4.51	2.46	6.68
27	0.73	3.46	0.37	9.27	0.047	15.88	0.49	12.02	0.96	11.00	0.51	5.17	2.26	5.05
28	0.69	4.17	0.40	9.52	0.049	17.29	0.44	13.02	0.96	12.15	0.46	5.51	2.46	6.03
29	0.71	4.29	0.38	8.54	0.050	17.98	0.46	12.46	0.92	9.47	0.50	6.95	2.37	6.29
30	0.72	3.78	0.37	9.55	0.049	16.91	0.47	12.49	0.93	11.61	0.50	5.85	2.36	7.57
31	0.71	5.18	0.39	10.06	0.057	19.65	0.45	14.12	0.91	11.94	0.50	5.20	2.41	7.10
32	0.74	3.31	0.37	7.90	0.044	14.48	0.50	10.80	0.95	8.44	0.53	5.63	2.23	5.83
33	0.67	5.84	0.41	9.91	0.045	16.62	0.42	12.90	0.92	12.28	0.46	5.17	2.56	7.23
34	0.67	7.33	0.38	11.41	0.044	21.25	0.44	15.89	0.95	13.74	0.46	5.60	2.55	7.20
35	0.65	5.19	0.41	8.17	0.047	14.08	0.42	10.69	0.92	9.81	0.46	4.59	2.45	6.27
36	0.67	7.17	0.42	9.10	0.054	18.58	0.43	13.36	0.91	10.95	0.47	5.91	2.41	5.68
37	0.72	3.58	0.40	9.68	0.052	17.61	0.47	13.23	0.91	11.99	0.52	5.39	2.32	6.26
38	0.69	7.38	0.42	9.89	0.048	17.93	0.45	13.58	0.92	12.06	0.49	5.70	2.35	5.58
39	0.69	7.23	0.38	8.09	0.046	14.86	0.46	10.57	0.92	8.99	0.50	5.51	2.35	7.15
40	0.70	4.70	0.39	9.45	0.049	17.86	0.44	13.11	0.94	10.49	0.47	8.27	2.52	5.39
$LSD_{0.05}$	0.01		0.01		0.003		0.002		0.03		0.01		0.05	
CV(%)	3.06		4.53		7.80		5.29		1.94		5.06		3.34	

[z] See Table 1.

[y] Definition of S1~S7 see Table 2.

表 6. 四十個粳稻品種之糙米的七種形狀參數估計值

Table 6. Estimated values of 7 shape parameters of brown rice for 40 japonica rice varieties

Variety No.[z]	S1[y]		S2		S3		S4		S5		S6		S7	
	m	CV (%)	m (mm^{-1})	CV (%)	m (mm^{-1})	CV (%)	m	CV (%)	m	CV (%)	m	CV (%)	m	CV (%)
1	0.79	3.49	0.41	7.94	0.093	12.58	0.61	9.41	1.04	8.85	0.59	4.40	2.12	5.30
2	0.77	4.21	0.43	9.36	0.086	16.08	0.57	12.15	1.02	11.13	0.56	5.13	2.04	5.25
3	0.79	3.73	0.42	8.08	0.094	15.50	0.60	10.94	1.06	9.58	0.57	5.30	2.02	6.58
4	0.78	2.88	0.40	7.99	0.084	13.36	0.58	10.18	1.05	9.36	0.56	4.77	2.09	6.40
5	0.76	4.95	0.46	12.72	0.080	17.64	0.53	14.17	1.05	14.55	0.51	7.96	2.17	7.40
6	0.78	3.28	0.42	7.47	0.085	13.34	0.58	10.19	1.03	10.40	0.56	4.65	2.06	5.16
7	0.80	3.03	0.41	7.48	0.095	12.68	0.62	9.54	1.03	8.79	0.60	5.34	1.97	5.59
8	0.78	3.59	0.42	8.01	0.085	13.31	0.58	10.40	1.05	9.56	0.55	5.47	2.14	7.66
9	0.80	3.26	0.43	10.74	0.098	18.03	0.61	13.98	1.03	12.46	0.59	4.85	1.96	6.56
10	0.79	3.50	0.40	9.75	0.091	17.70	0.61	12.66	1.05	11.37	0.58	5.22	2.04	8.59
11	0.77	3.78	0.44	9.05	0.089	15.61	0.57	11.71	1.07	10.36	0.53	6.68	2.01	7.29
12	0.78	3.40	0.41	9.01	0.092	15.68	0.61	11.56	1.05	10.44	0.58	4.88	2.00	5.30
13	0.78	3.84	0.42	8.22	0.086	14.33	0.58	10.79	1.04	10.74	0.56	5.55	2.04	5.11
14	0.79	3.85	0.39	9.24	0.092	14.25	0.62	11.29	1.04	9.13	0.59	7.31	2.04	6.43
15	0.76	3.93	0.43	8.55	0.082	15.52	0.56	11.76	1.01	9.70	0.55	4.58	2.05	4.02
16	0.79	3.63	0.43	9.21	0.090	16.44	0.59	12.49	1.02	11.18	0.58	4.89	2.00	5.10
17	0.78	3.18	0.41	8.90	0.087	15.43	0.59	11.57	1.04	11.05	0.57	4.43	2.05	5.82
18	0.78	3.57	0.41	8.74	0.090	15.51	0.60	11.67	1.05	10.81	0.57	5.01	2.02	4.54
19	0.79	3.46	0.41	9.86	0.087	17.18	0.59	12.93	1.02	11.54	0.57	5.53	2.12	6.50
20	0.79	4.13	0.42	9.23	0.091	14.69	0.59	11.50	1.03	13.44	0.58	6.44	1.98	7.73
21	0.79	3.60	0.43	7.64	0.098	12.25	0.61	9.65	1.06	9.00	0.57	5.07	2.02	4.83
22	0.82	3.30	0.40	9.99	0.112	16.85	0.67	13.03	1.04	12.44	0.65	4.92	1.95	5.11
23	0.80	4.18	0.40	10.47	0.098	15.59	0.63	12.15	1.05	13.47	0.61	5.70	1.98	5.00
24	0.81	2.94	0.38	9.14	0.099	14.89	0.65	11.45	1.05	10.29	0.62	4.25	1.92	4.22
25	0.81	3.60	0.41	10.05	0.103	17.45	0.65	13.14	1.03	12.12	0.63	4.74	2.00	6.79
26	0.80	3.82	0.40	8.55	0.096	14.48	0.63	11.07	1.04	10.48	0.60	4.99	2.09	7.77
27	0.80	3.73	0.40	9.68	0.105	15.69	0.66	12.24	1.05	12.70	0.63	5.73	1.91	4.52
28	0.76	3.22	0.43	10.46	0.085	17.47	0.57	13.25	1.05	12.29	0.54	4.88	2.08	6.93
29	0.80	3.52	0.39	8.16	0.094	15.80	0.63	11.42	1.05	9.22	0.60	5.97	1.97	5.34
30	0.79	3.30	0.42	12.94	0.087	23.71	0.58	17.75	1.00	16.14	0.58	5.64	2.02	14.10
31	0.79	3.81	0.42	9.35	0.091	16.86	0.60	12.47	1.03	11.13	0.58	5.35	2.01	6.77
32	0.80	3.54	0.40	8.67	0.101	14.29	0.64	11.03	1.03	10.17	0.62	4.67	1.95	8.50
33	0.75	4.54	0.44	9.57	0.077	15.66	0.53	11.76	1.04	12.06	0.51	6.45	2.15	8.87
34	0.76	3.82	0.43	9.96	0.079	17.00	0.55	12.55	1.04	11.21	0.53	5.69	2.12	6.61
35	0.77	3.89	0.43	7.84	0.087	11.94	0.57	9.17	1.06	9.03	0.54	3.71	2.02	5.28
36	0.78	3.28	0.44	8.09	0.088	15.45	0.57	11.38	1.03	9.77	0.55	5.43	2.03	5.21
37	0.80	3.70	0.41	8.37	0.102	14.05	0.63	10.70	1.05	10.10	0.60	4.46	1.93	5.71
38	0.78	4.34	0.44	9.96	0.096	15.04	0.60	11.61	1.04	11.53	0.58	6.51	1.95	4.91
39	0.79	3.18	0.40	9.13	0.094	15.14	0.62	11.36	1.06	9.66	0.59	4.74	1.93	5.39
40	0.77	4.15	0.41	8.18	0.085	14.51	0.58	10.80	1.06	8.49	0.55	7.76	2.11	4.21
$LSD_{0.05}$	0.01		0.01		0.004		0.02		0.04		0.01		0.04	
CV(%)	1.83		4.14		8.19		5.43		1.41		5.43		3.28	

[z] See Table 1.

[y] Definition of S1~S7 see Table 2.

表 7. 粳稻之稻穀(對角線右方)及糙米(對角線左方)的測量幾何特徵及形狀參數間之相關關係

Table 7. Correlation among geometric features and shape parameters of rice grain (on the right-hand of diagonal) and brown rice (on the left-hand of diagonal) in japonica rice

	L	W	D	A	P	S1[z]	S2	S3	S4	S5	S6	S7
L		0.15	0.11	0.67***	0.93***	-0.54***	-0.11	-0.82***	-0.55***	-0.04	-0.57***	0.65***
W	0.01		0.81***	0.77***	0.43**	0.64***	-0.91***	0.38*	0.66***	-0.11	0.73***	-0.34*
D	0.01	0.82***		0.67***	0.40*	0.50**	-0.81***	0.35*	0.60***	0.07	0.59***	-0.65***
A	0.62***	0.73***	0.61***		0.87***	0.21	-0.81***	-0.13	0.25	0.22	0.17	0.08
P	0.84***	0.48**	0.40*	0.94***		-0.30	-0.43**	-0.57***	-0.23	0.10	-0.29	0.40*
S1	-0.63***	0.72***	0.58***	0.15	-0.20		-0.71***	0.88***	0.94***	0.20	0.91***	-0.64***
S2	0.04	-0.93***	-0.76***	-0.75***	-0.50**	-0.72***		-0.47**	-0.76***	-0.29	-0.68***	0.40*
S3	-0.87***	0.47**	0.38*	-0.16	-0.47**	0.89***	-0.52***		0.93***	0.21	0.89***	-0.79***
S4	-0.67***	0.70***	0.57***	0.17	-0.16	0.94***	-0.77***	0.95***		0.29	0.93***	-0.75***
S5	-0.14	-0.28	-0.21	-0.02	0.00	-0.07	-0.08	0.11	0.11		-0.07	-0.15
S6	-0.63***	0.77***	0.62***	0.17	-0.17	0.96***	-0.74***	0.92***	0.97***	-0.14		-0.72***
S7	0.67***	-0.40*	-0.68***	0.11	0.36*	-0.71***	0.41**	-0.77***	-0.73***	-0.00	-0.73***	

[z] Definition of S1~S7 see Table 2.

*,**,***: Significant at 5%, 1% and 0.1%, respectively (n=40).

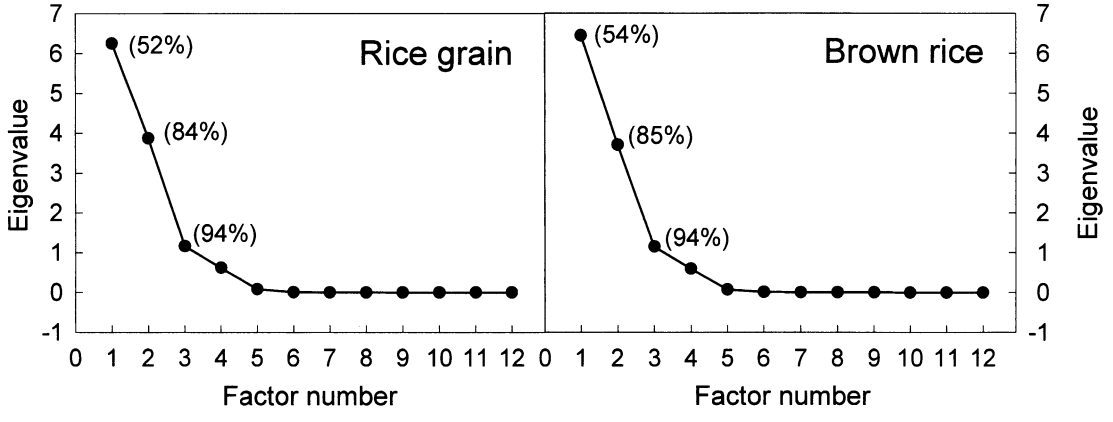

圖 1. 粳稻之稻穀及糙米之測量幾何特徵及形狀參數的因素分析之特性值傾斜圖.(圖上數字爲共同因素變方佔總變方之累計比例)。

Fig. 1. Eigenvalue (scree) plots from factor analysis of geometric features and shape parameters in rice grain and brown rice of japonica rice. (Numbers in the figure indicate the cumulative proportion of variance explained by common factors).

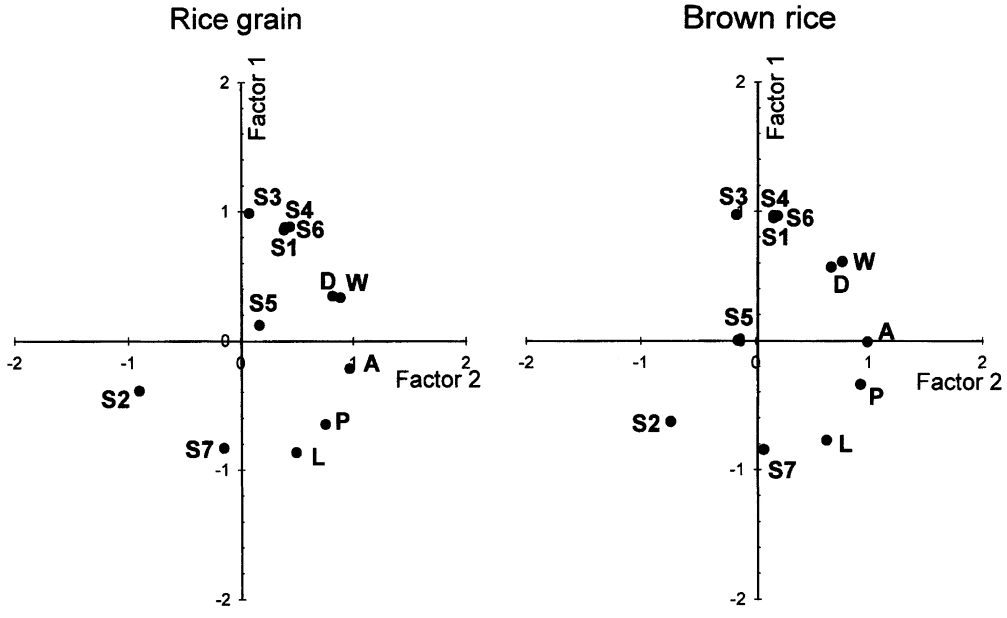

圖 2. 粳稻之稻穀及糙米之測量幾何特徵及形狀參數經最大變異轉軸後的因素分布圖(L：長, W：寬, D：厚, A：面積, P：圓周, S1~S7：七個形狀參數)

Fig. 2. Factor plot after varimax rotation from factor analysis of geometric features and shape parameters in rice grain and brown rice of japonica rice. (L: length; W: width; D: depth; A: area; P: perimeter; S1-S7: seven shape parameters)

討　論

由本研究結果可知，固然用以描述粒形的 2D 形狀參數甚多，其出現在各種研究報告中的名詞定義不一，但其實彼此間的同質性仍相當高，如 S1、S3、S4 及 S6。Sakai *et al.*(1996)利用 2D 影像分析系統探討碾米方法對水稻粒形變異之影響的試驗中，所使用的緊密性及伸展性之兩種形狀參數即各爲此處之 S1 和 S6，而由本研究結果得知，該兩形狀參數都屬於同質性甚高之圓形-緊密性的量化測度，故只要選擇其中的 S6 即可，但仍應再合併使用 S2 及 S5 之形狀參數，始能充分地描述及辨識稻穀及糙米的平面形狀變異。本研究中的 S6 係沿用 Yonekawa *et al.*(1996)之伸長性定義，爲寬對長的比例值，由於國內育種人員習慣以長對寬之比例值來對稻米形狀作粗略的分類(Brandon *et al.* 1981; 郭 1986; 劉 1986)，若將 S6 改以長對寬的比例定義，因兩者間互爲倒數關係，其效果相同。至於 S2 和 S5，係 Shouche *et al.* (2001)在常見的緊密性及伸長性等各種形狀參數之外所提出增列的 2D 形狀參數，雖尚未給予特定的屬性名詞，但由本研究結果得知，該兩形狀參數與其他參數之間的同質性甚低，當可增加某些粒形的 2D 資訊。除此，相對於其他形狀參數，S2、S5、S6 均不涉及圓周的測量，實際操作也較爲方便，因爲即使有影像分析測量軟體的協助，圓周之測量通常也比較棘手。

倘進而考慮 3D 法，除了 S2、S5 及 S6 之三種 2D 形狀參數以外，則可再搭配形狀參數 S7，此涉及粒寬之測量。但目前利用數位影像分析若欲準確測得粒厚，有些技術問題仍待克服，否則難以獲得精確度高的粒厚數據；正如 Cerdà & García-Fayos(2002)在利用此 3D 形狀參數於不同物種之植物種子形狀時，仍以直接用尺測量方式來取得粒厚數據，而非透過影像分析技術。由於水稻糙米具有透光性，

如何提高影像分析系統在測量糙米粒厚之操作準確度，是目前機器設計上重要的挑戰。

Shouche *et al.*(2001)指出利用供試品種與參照品種間之各種形狀參數的歐氏距離，相對於幾何特徵之歐氏距離，更可有效地區分出印度小麥品種間粒形的差異性，故可供作樣品間區分之基礎。針對水稻粒形，如何利用上述所決定之形狀參數，結合歐氏距離之觀念，提供一個適當的數值指標，以判斷稻穀及糙米樣本間之粒形是否相近或差異，限於篇幅，將留待下一篇報告討論。

引用文獻

郭益全。1986。水稻碾米品質及米粒外貌之品種變異。中華農業研究 35:235-243。

曾東海、鄧耀宗。1984。水稻粒型對稻米市場品質之影響。中華農業研究 33:95-108。

劉村明。1986。稻作水田與旱田栽培之粒重、粒型及腹白之差異。中華農學會報新 134:59-63。

Balck, K. 1980. Particle shape characterization of sand. Mikroskopie 37:396-399.

Cerdà, A. and P. García-Fayos. 2002. The influence of seed size and shape on their removal by water erosion. Catena 48:293-301.

Jain, A. K. 1995. Fundamental of Digital Image Processing. Prentice Hall, New Delhi. India. 567 pp.

Keefe, P. D. 1992. A dedicated wheat grain image analyzer. Plant Var. Seeds 5:27-33.

Keefe, P. D. 1999. Measurement of llinseed (*Linum usitattissimum* L.) seed character for distinctness, uniformity and stability testing using image analysis. Plant Var. Seeds 12:79-90.

Keefe, P. D. and S. R. Draper. 1986. The measurement of new characters for cultivar identification in wheat using machine vision. Seed Sci. Technol. 14:715-724.

Keefe, P. D. and S. R. Draper. 1988. An automated machine vision system for morphometry of new cultivars and plant gene-bank accessions. Plant Var. Seeds. 1:1-11.

Kimura, A. and K. Aikawa. 1986. Automatic visual inspection system with a microscope. Automation (Japan) 31:99-106.

Myers, D. G. and K. J. Edsall. 1989. The application of image processing techniques to the identification of Australian wheat varieties. Plant Var. Seeds 2:109-116.

Pietrzak, L. N. and R. G. Fulcher. 1995. Polymorphism of oat kernel size and shape in several Canadian oat cultivars. Can. J. Plant Sci. 75:105-109.

Poesen, J. 1987. Transport of rock fragments by rill flow-a field study. Catena Suppl. 8:35-54.

Rastogi, R., S. Shouche and J. Rajeshwar. 1998. Application of shape analysis and morphological methods. p.45-48. In: Proceedings of International Conference on Computer Vision, Graphics and Image Processing. An Indian Panorama (ICVGIP"89), New Delhi.

Rosenfeld, A. and C. Kak. 1976. Digital Picture Processing. San Diego, Calif., Academic Press. 457pp.

Sakai, N., S. Yonekawa, A. Matsuzaki and H. Morishima. 1996. Two dimensional image analysis of the shape of rice and its application to separating varieties. J. Food Eng. 27:397-407.

Sapirstein, H. D. 1995. Varietal identification by digital image analysis. p.91-130. In: Identification of Food-grain Varieties. (Wrigley, C. W., eds.) Am. Assoc. Cereal Chem. Inc., St. Paul, MN.

SAS Institute Inc. 1999. SAS/STAT User's Guide. Version 8. SAS Inst. Inc., Cary, N.C., USA. 3884 pp.

Schäfer, A. and T. Teyssen. 1987. Size, shape and orientation of grains in sands and sandstones: image analysis applied to rock thin-sections. Sedimentary Geology 52:251-271.

Shouche, S. P., R. Rastogi and S. G. Bhagwat. 2001. Shape analysis of grains of Indian wheat varieties. Comput. Electron. Agric. 33:55-76.

Jandel Scientific Cor. 1995. SigmaScan & SigmaScan Pro User's Manual. Jandel Cor., San Refael, CA., USA. 456pp.

Symons, S. J. and R. G. Fulcher. 1988. Determination of wheat kernel morphological variation by digital image analysis. I. Variation in eastern Canadian milling quality wheats. J. Cereal. Sci. 8:211-218.

Travis, A. J. and S. R. Draper. 1985. A computer-based system for recognition of seed shape. Seed Sci. Technol. 13:813-820.

Yonekawa, S., N. Sakai and O. Kitani. 1996. Identification of idealized leaf types using simple dimensionless shape factors by image analysis. Trans. ASAE 39:1525-1533.

Zayas, I., F. S. Lai and Y. Pomeranz. 1986. Discrimination between wheat classes using image analysis. Cereal Chem. 63:52-56.

Zayas, I., Y. Pomeranz and F. S. Lai. 1985. Discrimination between Arthur and Arkan wheats by image analysis. Cereal Chem. 62:478-480.

Quantitative Analysis of the Shape of Rice Grain. I. Determination of Shape Parameters[1]

Hsiu-Ying Lu[2,4], Meng-Li Wei[2], Chun-Tang Lu[2] and Lit-Fu Chan[3]

Summary

Lu, H. Y., M. L. Wei., C. T. Lu and L. F. Chan. 2003. Quantitative analysis of the shape of rice grain. I. determination of Shape Parameters. J. Agric. Res. China 52:311-323.

As the rice trade increases, quickly and accurately distinguishing the shape differences among samples of rice grains is required to automatically separate grains for quality control. Thus, Image analysis systems become more important. The development of the software of these systems is based on the effective indices for quantifying the shape of grains. Rice grains had been traditionally classified into three categories (e.g. long, medium and short) by using the ratio of length to width, but it is too simple to adequately identify the shape variation of rice grains in image measuring system. There are few researches on the quantitative analysis of grain shape in rice. Therefore, in this study, 40 japonica rice varieties were used to determine the optimum indices for quantifying the shape in rice grain and brown rice. Geometric features such as length (L), width (W), depth (D), area (A) and perimeter (P) were measured. Seven shape parameters [two-dimensional (2D) or three-dimensional (3D)] (S1~S7) were defined and derived from these basic geometric features. Relationships among the geometric features and shape parameters were further examined. Rice grain and brown rice showed consistent results. If the 2D measurement is selected, the shape parameters S2 (=L/A), S5 (=4A/πLW) and S6 (=W/L) derived from the length, width and area of grains could serve as useful indices to quantify the shape of rice grain and brown rice. If the 3D measurement is considered, the shape parameter S7 (=(L+W)/2D) could be used as another shape index.

Key words : Japonica rice, Grain shape, Geometric features, Shape parameters, Image analysis system.

---

1. Contribution No.2172 from Agricultural Research Institute, Council of Agriculture. Accepted: September 29, 2003.

2. Senior Statistician, Assistant Agronomist, and Assistant Agronomist, Respectively, Agronomy Division, ARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.

3. Assistant Agronomist, Farm Management Division, ARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.

4. Corresponding author, e-mail: iying@wufeng.tari.gov.tw ; Fax:(04)23302806.